

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-142169

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

G01N 22/04

(21)Application number : 08-313133

(71)Applicant : KAO CORP

(22)Date of filing : 07.11.1996

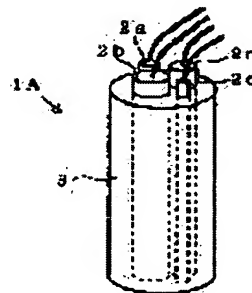
(72)Inventor : NAITO SATOSHI
HOSHI MASATO

(54) MULTIPROBE FOR DIELECTRIC RELAXATION MEASUREMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a multiprobe by which the concentration of moisture in a sample is measured nondestructively, within a practical measuring time, with good accuracy and simply when the concentration is measured according to a dielectric relaxation measurement by a time domain reflection(TDR) method or the like.

SOLUTION: A multiprobe 1A with a plurality of built-in electrodes 2, for dielectric relaxation measurement, each of which is composed of a core-shaped internal electrode and of an external electrode arranged coaxially via an insulator and in each of which the tip face of the internal electrode and the tip face of the electrode are used as a contact face with a sample is used as a probe for dielectric relaxation measurement. Electric length of the plurality of electrodes which are installed inside the multiprobe 1A are made different from each other or equal to each other.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The multi-probe for dielectric relaxation measurement with which the electrode for dielectric relaxation measurement with which it consists of a core wire-like internal electrode and an external electrode arranged on the internal electrode in the shape of the same axle through the insulator, and the apical surface of an internal electrode and the apical surface of an external electrode turn into the contact surface over a sample is characterized by preparing more than one in one probe.

[Claim 2] The multi-probe for dielectric relaxation measurement according to claim 1 with which the electric merits of two or more electrodes prepared in one probe differ mutually.

[Claim 3] The electric length of two or more electrodes prepared in one probe is an equal multi-probe for dielectric relaxation measurement according to claim 1 mutually.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the probe for dielectric relaxation measurement which makes it possible to search for concentration distribution of the moisture of the depth direction in a sample by measuring the dielectric constant of a sample. In order to raise measurement effectiveness especially, the electrode which measures the dielectric constant of a sample is related with the multi-probe for dielectric relaxation measurement formed in one probe. [two or more]

[0002]

[Description of the Prior Art] Generally, the property of the sample which contains water like the skin or food is greatly influenced by the moisture content. Therefore, measurement of the moisture content of these samples becomes useful [when grasping the property and condition of a sample, it is useful, and], also when evaluating the engine performance of the chemical applied to the sample, cosmetics, etc.

[0003] Then, the various water measurement approaches are proposed and used from before. For example, generally as a measuring method of the moisture of sample surfaces, such as the skin, the RF impedance method is used. However, since the RF impedance method is not observing the behavior of the water of a sample surface directly, there are many factors which affect measured value in addition to the moisture of a sample surface, and a problem is in repeatability. Moreover, the information acquired by the RF impedance method also has the problem that it is ambiguous what the depth of a thing it is, from a sample front face. Furthermore, by this approach, information about the condition of the water whether to be free water or to be bound water cannot be acquired, either.

[0004] On the other hand, as the water measurement approach of a sample surface, the dielectric constant of a sample surface is measured and the approach of measuring the dielectric relaxation of the water which exists there is proposed. As a measuring method of dielectric relaxation, although there are a frequency-domain measuring method and a time domain reflection method (it abbreviates to the TDR method (Time Domain Reflectometry method) hereafter), the latter measurement technique and research of the application are advanced positively in recent years.

[0005] This TDR method is an approach of impressing the excitation signal (for example, step pulse) of a specific wave to a sample, observing that reflected wave, asking for the complex permittivity of a sample from the phase of each frequency component of a reflected wave, and a strong change, and getting to know the physical properties of a sample based on it. For example, the example which performed a living body's water measurement by the TDR method is indicated by JP,2-110357,A (bottom right column of 17 lines of - of ten lines the 7th page of the 4th page top right column of this official report). According to this approach, since the moisture content in a sample can be measured in un-destroying and quantitatively and the information about the condition of the water whether to be free water or to be bound water can also be acquired, it is desirable.

[0006] Drawing 7 is a schematic diagram of a probe and a system used for measurement of this dielectric relaxation. As shown in this drawing, as a probe 1 used for measurement of dielectric relaxation, what formed the single electrode 2 in the tubed probe case 3 is used. The electrode 2 of a probe 1 is opened so that an end can stick to Sample S, and the other end has connected it with the oscillation and the receiving set 6 through a cable 4 and a connector 5. The receiver which receives the oscillator which generates an excitation signal, and the reflected wave from Sample S is built in this oscillation and receiving set 6, and the oscilloscope which displays each wave further has connected with it. Moreover, the oscillation and the receiving set 6 were asked for complex

permittivity from the observation wave, and the computer 7 which computes moisture concentration has connected with it.

[0007] Drawing 8 is the sectional view of the electrode 2 used for a probe 1. As shown in this drawing, an electrode 2 consists of a core wire-like internal electrode 21 and an external electrode 23 arranged on the perimeter in the shape of the same axle through the insulator 22, and the apical surface of an internal electrode 21 and the apical surface of the external electrode 23 constitute the contact surface over a test portion.

[0008] It is the sectional view of modification 2x of the electrode with which drawing 9 is also used for a probe 1. Like [these electrode 2x] the electrode 2 of drawing 8 , although it consists of a core wire-like internal electrode 21 and an external electrode 23 arranged on that perimeter in the shape of the same axle through the insulator 22, those paths are narrowed, fixing the ratio of the bore of an internal electrode 21 and the external electrode 23 toward an apical surface from the center section of electrode 2x. Thus, the path of the apical surface of the internal electrode 21 which will touch a sample can be narrowed, and the electric merit of an electrode can be shortened by making area of the apical surface small. Moreover, it is desirable to face to narrow the path of the apical surface of an internal electrode 21, and to make the impedance in an electrode regularity in the location of the arbitration of an electrode by making regularity a ratio with the bore of an internal electrode 21 and the external electrode 23 in this way. It enables this to prevent the multiple echo at the time of dielectric relaxation measurement.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the water measurement by the conventional TDR method, the average moisture content of the sample surface in a certain Mr. Fukashi cannot only pass from a sample front face to understand, and concentration distribution of the water of the depth direction of a sample cannot be known. Therefore, the problem that a chemical, cosmetics, etc. which were applied to the property of a sample, analysis of a condition, or a sample could not be evaluated was in the detail.

[0010] In addition, the tape stripping method which measures the surface of a sample as an approach of searching for concentration distribution of the depth direction of a sample while exfoliating for every predetermined depth is learned. However, such an approach has the problem that it is accompanied by an examiner's-ed pain, when making especially the skin into a sample with destruction of a sample. Moreover, there is also a problem that concentration distribution of the depth direction cannot be searched for in sufficient precision.

[0011] this invention persons are electric merit gammad to such a problem. By measuring the dielectric constant of a sample using an open sand mold electrode, it is depth abbreviation [from a sample front face] gammad. It found out that the average moisture content of the range could be measured. Furthermore, when a dielectric constant was measured using two or more open sand mold electrodes with which electric length differs to the same part of a sample, fixed relational expression was materialized between the electric length of each electrode, and the measured value of a dielectric constant, and the concentration distribution measuring method of water was proposed for the ability of concentration distribution of the water of the depth direction of a sample to be searched for based on it based on headers and these knowledge (Japanese-Patent-Application-No. No. 150910 [seven to] description).

[0012] That is, it was found out that measured-value epsilonobs (gammad) of a dielectric constant is expressed with a degree type (1).

[0013]

[Equation 1]

$$\epsilon_{\text{obs}}(\tau d) = \frac{1}{\tau d} \int_0^{\infty} \frac{x}{\int_0^x dz / \epsilon(z)} \exp(-x/\tau d) dx \quad (1)$$

The inside of a formula and epsilonobs (gammad) are electric merit gammad. The measured value of the dielectric constant measured using an electrode is expressed.

[0014] epsilon (z) expresses the dielectric constant in the depth of z from a front face. This dielectric constant means the sum of dielectric constant epsiloninfinity in a field quicker enough than the relaxation time of water and relaxation on-the-strength deltaepsilon of water in dielectric constant measurement, and relaxation on-the-strength deltaepsilon of this water is proportional to the

moisture content of a sample.

[0015] electric length gammad of an electrode the degree type (2) which is the relational expression of the electromagnetic wave $V(\omega)$ and its reflected wave $R(\omega)$ concerned at the time of preparing the load of complex permittivity $\epsilon^*(\omega)$ in the end of the transmission line of a coaxial cable etc., and impressing the electromagnetic wave V of angular frequency ω (ω) from the other end, and complex permittivity $\epsilon^*(\omega)$ of a load -- setting -- parameter gammad ***** -- it is contained.

[0016]

[Equation 2]

$$\epsilon^*(\omega) = \frac{c}{j\omega \cdot \tau d} \cdot \frac{V(\omega) - R(\omega)}{V(\omega) + R(\omega)} \cdot Z \cot \tau Z$$

(2)

(式中、 c = 光速度

j = 虚数単位

τd = 電気長

$$Z = \omega d \sqrt{\epsilon^*(\omega)} / c$$

d = 伝送路の幾何学長 である。)

This electric merit gammad It can ask by immersing an electrode point in the well-known standard sample by which complex permittivity $\epsilon^*(\omega)$ is known 1cm or more from an apical surface, without covering an electrode lateral portion with an insulator, and measuring a reflected wave.

[0017] Moreover, electric length gammad It is the physical quantity of the electrode proper which becomes settled with the configuration and magnitude of an electrode, and is not dependent on a measuring method. Therefore, also in the measuring method of which dielectric relaxation of a frequency-domain measuring method or a time domain reflection method (the TDR method), the electric length of an electrode is fixed.

[0018] Then, the dielectric constant of the same part of a sample is measured using two or more electrodes with which electric length differs first in searching for moisture concentration distribution of the depth direction in a sample using the above-mentioned formula (1) according to the measuring method which this invention persons proposed, and it is electric merit gammad. Measured-value ϵ_{obs} (gammad) of a dielectric constant is obtained for every different electrode. And it asks for dielectric constant $\epsilon(x)$ in the depth x as concentration distribution of the water of a sample by either the following approach a or the approach b.

[0019] Approach a: A suitable function is assumed to water's concentration distribution $\epsilon(x)$, and define the parameter of the function suitably further, while changing these parameters (for example, concentration, the depth, etc. in the part by which the concentration gradient of water and the concentration of water become fixed), calculate dielectric constant ϵ_{obs} (gammad) by the formula (1), and ask for a function and a parameter in case the calculated value and actual measured value are in agreement.

[0020] Approach b: The degree type which is an inverse transformation type of a formula (1) (3)

[0021]

[Equation 3]

$$\epsilon(x) = \left[\frac{d}{dx} \left(\frac{x}{L^{-1}(\tau d \cdot \epsilon_{\text{obs}}(\tau d))} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

(-- L^{-1} expresses inverse Laplace transform to $s = 1/\text{gammad}$ among a formula.) -- it asks for water's concentration distribution $\epsilon(x)$.

[0022] Thus, electric merit gammad The dielectric constant of the same part of a sample is measured using two or more different electrodes, and it is electric merit gammad. Concentration distribution of the water of the depth direction of a sample can be known by [different] obtaining measured-value ϵ_{obs} (gammad) of a dielectric constant for every electrode.

[0023] However, it sets to the gaging system of old dielectric relaxation, and is electric merit gammad. The probe which has electric predetermined merit's electrode whenever it measures with the electrode with which electric length differs, in order to ask for a dielectric constant for every

different electrode had to be exchanged, and there was a problem that measurement actuation became very complicated. Moreover, since the total measuring time became long, when concentration distribution of the water in a sample changed with time, there was also a problem that exact concentration distribution could not be acquired.

[0024] Moreover, in order to raise the accuracy of measurement to a case in quest of the moisture concentration in a certain specific depth, to measure at least the same test section repeatedly with the same electrode is desired. Therefore, there was a problem that the measuring time became long also in this case, and in order to apply an electrode at least to the same test section repeatedly further, there was also complicatedness that attention had to be paid.

[0025] This invention tends to solve the technical problem of the above conventional techniques, and it aims at it being accurate and enabling it to measure moisture concentration distribution of a sample simple within the practical measuring time.

[0026]

[Means for Solving the Problem] this invention person by preparing two or more electrodes with which electric length differs in one probe which measures dielectric relaxation That moisture concentration distribution of the depth direction of a sample can be once measured efficiently by measurement actuation, and by preparing two or more equal electrodes of electric length in one probe It came to complete [the moisture concentration of the specific depth of a sample] a header and this invention for accuracy and being obtained simple by measurement actuation once.

[0027] That is, the multi-probe for dielectric relaxation measurement with which the electrode for dielectric relaxation measurement with which this invention consists of a core wire-like internal electrode and an external electrode arranged on the internal electrode in the shape of the same axle through the insulator, and the apical surface of an internal electrode and the apical surface of an external electrode turn into the contact surface over a sample is characterized by preparing more than one in one probe is offered.

[0028] The electric length of the mode from which the electric length of two or more electrodes especially prepared in one probe differs mutually, or two or more electrodes which are prepared in one probe offers an equal mode mutually.

[0029] According to this invention, since two or more electrodes for dielectric relaxation measurement are prepared in one probe, the measurement actuation multiple-times needed until now can be reduced. In order to measure concentration distribution of the moisture of the depth direction, even when the thing from which electric length differs and which is searched for for a dielectric constant for every electrode is needed according to the mode of this invention by which two or more electrodes for dielectric relaxation measurement with which electric merits differ mutually are especially prepared in one probe, exchange of a probe can be made unnecessary or it can reduce a turnover rate. Therefore, it becomes possible simple to measure dielectric relaxation of a sample for a short time.

[0030] Moreover, in one probe, electric merit in order to raise the accuracy of measurement of the moisture concentration in a certain specific depth according to the mode of this invention in which two or more equal electrodes for dielectric relaxation measurement of each other are prepared Since a part for multiple times can be simultaneously measured by measurement by one probe even when necessary [to measure a multiple-times repeat dielectric constant with specific electric merit's electrode] The total measuring time can be shortened and the complicatedness of setting an electrode at least by the same test section of a sample for every measurement can also be mitigated.

[0031]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, this invention is explained to a detail based on a drawing. In addition, the same sign expresses the same or equivalent component among each drawing.

[0032] Drawing 1 is the schematic diagram of multi-probe 1A of one example of this invention. In the probe case 3, this multi-probe 1A makes four electrode 2a different mutually [electric length], 2b, and 2c and 2d adjoin, and is prepared.

[0033] Each electrode 2a, 2b, and a basic configuration (2c and 2d) are the same as that of the electrode 2 used for the conventional probe 1 shown in drawing 8 or drawing 9 , and consist of a core wire-like internal electrode 21 and an external electrode 23 arranged on the perimeter in the shape of the same axle through the insulator 22.

[0034] Moreover, although each electrode 2a and 2b differ from electric merit (2c and 2d) as mentioned above, respectively, it faces setting up the electric merit of each electrode, and it is

desirable to consider each as within the limits of 1-2000 micrometers of electric length, and it may be 5-100 micrometers more preferably. The changing wave shape of a reflected wave is too small in electric length being less than 1 micrometer, and exact measurement becomes difficult. On the other hand, if electric length exceeds 2000 micrometers, attenuation of the signal of a GHz field will become large and the accuracy of measurement will fall.

[0035] Moreover, each electrode 2a, 2b, and electric merit (2c and 2d) choose suitably according to the spatial resolving power of the class of sample, the depth which measures moisture concentration, and the depth direction made into the object etc. within the limits of above-mentioned. For example, the electrode of 5-100-micrometer electric length is used for measurement of moisture concentration distribution of a horny layer field.

[0036] Here, spacing in the apical surface of an internal electrode and an external electrode may be changed suitably that what is necessary is just to change suitably the area of the apical surface of the electrode with which an internal electrode contacts a sample, for example as an approach of changing each electrode 2a, 2b, and electric length (2c and 2d). for example, the consistency of an impedance with the coaxial cable which will connect the electrode of 100 micrometers or less of electric merits with an electrode for the apical surface of an internal electrode at the time of measurement of a dielectric constant by [of 10 micrometers - 270 micrometers of diameters] supposing that it is circular and setting spacing of an internal electrode and an external electrode to 10 micrometers - 310 micrometers -- good -- it can obtain .

[0037] Two or more electrode 2a, 2b, and probe 1A that consists of 2c and 2d are used, with either a frequency-domain measuring method or a time domain reflection method (the TDR method), the approach itself which asks for dielectric relaxation with each electrode is good, and it can be based on a respectively well-known approach. For example, the measurement by the TDR method itself can be based on the well-known approach indicated by JP,2-110357,A etc.

[0038] Moreover, although the oscillator and receiver for dielectric relaxation measurement are connected to each electrode by connecting an oscillation and a receiving set 6 to an electrode 2 on the occasion of measurement of dielectric relaxation as shown in drawing 7 , each electrode may be made to correspond, you may connect and an oscilloscope may be made to correspond to two or more electrodes. therefore, as a system configuration which measures moisture concentration by dielectric relaxation measurement For example, as were shown in drawing 2 , and the oscillation and the receiving set 6 which has an oscilloscope in each electrode 2a in multi-probe 1A, 2b, and 2c and 2d are connected, and these may be connected to a computer 7 and it was shown in drawing 3 The oscillator of two channels and receiver corresponding to two electrodes may be connected to one oscilloscope.

[0039] Although multi-probe 1A showed four electrode 2a and 2bs, and the example for which it has 2c and 2d to drawing 1 , there is especially no limit in the number of the electrodes prepared in a multi-probe in this invention. According to the predetermined spatial resolving power of the moisture concentration distribution of a depth field and the depth direction made into the class of sample to measure, and the object etc., it can set suitably. Although it is desirable since spatial resolving power improves so that there are many electrodes used theoretically, it is desirable to consider as 2-30 pieces for example, from the point of the size of the manufacturing cost of equipment, the time amount which count takes, and a practical multi-probe, when measuring moisture concentration distribution of the sural region.

[0040] The need is accepted at multi-probe 1A. In addition, each electrode 2a, 2b, 2c, The guide for sticking 2d on a sample front face, each electrode 2a, 2b, 2c, Press means, such as a spring which forces 2d on a sample front face by the predetermined pressure, The sensors for acquiring information other than moisture simultaneously, for example, a thermo sensor, pH sensor, a Doppler blood flow meter, a tintometer, a pressure sensor, the trembler for viscoelasticity measurement, the ultrasonic probe for tomography, a microphone, an optical fiber, a 1kHz - 100MHz electromagnetic wave receiving set, etc. can be formed.

[0041] Since the dielectric constant in four different electric merits can be simultaneously measured by using this multi-probe 1A, it becomes possible to measure concentration distribution of the moisture of the direction of the depth of a sample simple for a short time.

[0042] As mentioned above, although the mode of this invention by which electric merit prepared mutually different four electrode 2a, 2b, and 2c and 2d in [of one] multi-probe 1A was shown, as a multi-probe of this invention, the electric merit of two or more electrodes which a multi-probe has may be mutually made equal. In this case, the high measurement result of precision can be once

obtained by the measurement actuation which used the multi-probe the same with having repeated measurement with the electrode of that electric length two or more times.

[0043] Moreover, although it is the independence-electrode which has four electrode 2a and 2bs, and the external electrode with which 2c and 2d were allotted to core wire-like an internal electrode and a perimeter in the shape of the same axle through the insulator, respectively and these are bundled within the probe case 3 in multi-probe 1A of drawing 1 In the multi-probe of this invention, it is desirable that two or more independent electrodes bundle and the apical surface is arranged on the same flat surface as a direction. It needs to be filled up with no external inter-electrode openings of each independent electrode, or they may be filled up with an insulator and a conductor.

[0044] For example, as a mode of the multi-probe of this invention, it is good also as a multi-probe constituted in cylinder-like structure inside one conductor (for example, copper) with the external electrode of two or more ***** structure, the insulator of the shape of a cylinder arranged inside the opening of the shape of each cylinder, and the conductor (internal electrode) of the shape of a cylinder arranged inside at the pan of an insulator. Thus, if it should be common in two or more electrodes in the external electrode, since it can do more thinly than the case where the diameter of the whole multi-probe bundles the electrode of the same number simply, operability improves.

[0045] On the other hand, a cylinder-like electrode may be prepared in the perimeter of the internal electrode of the shape of one core wire in the shape of the same axle through an insulator as a mode of the multi-probe of this invention multiplex. When using one of the electrodes of the coaxial condition prepared in multiplex in this mode as an external electrode, the same axle-like electrode or core wire-like electrode which exists inside it can be used as an internal electrode. For example, as shown in drawing 4 , they are the core wire-like electrode 21, two same axle-like electrode 23A, and 23B. In the case of the used multi-probe, they are 21-23A, 21-23B, and 23A-23B as a combination of an internal electrode-external electrode. It can be used as three kinds of independent electrodes. A multi-probe thinner than the multi-probe of the structure which bundled the electrode simply by this is producible.

[0046] There is especially no limit about the sample which the multi-probe of this invention makes the measuring object. That from which concentration distribution of water changes near a sample front face according to the depth from a sample front face like the thing which has moisture concentration especially the skin, and food can be widely made into the measuring object.

[0047]

[Example] Hereafter, this invention is concretely explained based on an example.

[0048] Example 1 (1) As an electrode built in the production multi-probe of an electrode, it has the configuration shown in drawing 8 , and has the configuration which electric merit shows respectively to 60,115 or the 290-micrometer electrodes E2-E4, and drawing 9 , and electric length produced the 15-micrometer electrode E1. In this case, as [both] an electrode raw material, the internal electrode 21 and the external electrode 23 were used as copper, and it gold-plated on this front face for corrosion prevention. Moreover, the insulator 22 inter-electrode [these] was made into Teflon.

[0049] In addition, the electric length of the formed electrode asked as follows. That is, without the dielectric spectrum's having made the standard sample the acetone already known, and covering the external electrode side face of an electrode with an insulator, the head of an electrode was dipped in the acetone a depth of 1cm or more, and the reflected wave was measured by the TDR method, using a step pulse as an excitation signal. And an excitation signal and the measured reflected wave are used and it is electric merit γ . It considered as the parameter and the dielectric spectrum was computed from the formula (2). in this case, electric merit γ Electric merit γ when a dielectric spectrum is computed changing a value and the value of that computed dielectric spectrum is most in agreement with the known dielectric spectrum of an acetone Electric merit γ of the electrode concerned ** -- it carried out.

[0050] (2) The multi-probe which contains installation and four electrodes for a multi-probe, and production above-mentioned four electrodes of a gaging system in a tubed multi-probe case was produced.

[0051] Moreover, the coaxial cable was connected to four electrodes, respectively, and the SMA connector terminal was prepared in the termination. On the other hand, two digital oscilloscopes (the product made from Hewlett Packard, HP54750A) which contained two 20GHz channels for TDR measurement were prepared, and each connector terminal was connected to the channel of this digital oscilloscope. Moreover, it connected with one personal computer and each oscilloscope was controlled.

[0052] (3) After presupposing that it is at least as a test section about the forearm inside section of the measurement people of a dielectric constant and acclimating for 30 minutes by the environment of 25 degrees C and 80%R.H. beforehand, the multi-probe was applied to the skin of the forearm inside section, and the dielectric constant was measured. Then, it measured at intervals of 2 minutes, ventilating the forearm inside section. The relaxation reinforcement of the free water observed with each electrodes E1-E4 is shown in a table 1.

[0053]

[A table 1]

The relaxation reinforcement of free water An electrode E1 E2 E3 E4 Electric length gammad 15 60 115 Before 290 air blasting 33.4 39.2 42.1 45.4 air-blasting 2 minutes 20.1 28.6 33.6 39.8 air-blasting 4 minutes 14.9 23.7 29.2 36.6 air-blasting 6 minutes 9.9 18.8 24.62 23.9 [0054] By the way, it is thought that the water in a skin surface has concentration distribution in the depth direction according to the dynamic balance with supply of the water from the depths and evaporation of the water from a front face. Moreover, it is thought that supply of the water from the depths is governed by diffusion of a Fick mold since there is no blood vessel in a skin surface. Then, it is thought that the concentration gradient which moisture concentration increases from the depths linearly toward a front face is shown in a skin surface in approximation. Here, if the moisture concentration in the field of b and moisture concentration regularity is set with c, the depth which a and a concentration gradient end the moisture concentration on the front face of the maximum, and shifts to a fixed moisture concentration field can be expressed as the moisture concentration of the depths was shown in drawing 5 from the skin surface.

[0055] On the other hand, the skin can be approximated if it consists of water and protein. The relaxation reinforcement of pure water is 73 and the dielectric constant of the water in a frequency domain quicker enough than relaxation of water is 5.3. Moreover, since protein is a far bigger molecule than water, relaxation is not caused in the frequency domain which the dielectric relaxation of water produces. Although the dielectric constant in a frequency domain quicker enough than relaxation of water changes a little with proteinic classes, it can be approximated with the dielectric constant 3.3 of the nylon which is a typical polyamide. Then, the dielectric constant (epsilon) of the frequency domain which the relaxation process of water ends can be expressed like a degree type (4) as a function of the concentration (Cw) of water.

[0056]

[Equation 4]

$\epsilon = 73, Cw + (5.3 - 3.3), \text{ and } Cw + 3.3 \quad (4)$

If this formula (4) is applied to moisture concentration distribution (depth x vs. from a surface moisture concentration) of drawing 5, the depth direction distribution of the dielectric constant in a skin front face can be acquired. From drawing 5 [to 0057 [namely,]]

[Equation 5]

$$\text{水の濃度 (Cw)} = \frac{(c - a) \cdot x}{b} + a$$

It comes out, and since it is, a formula (4) can be expressed like a degree type (4').

[0058]

[Equation 6]

$$\epsilon = 73 - [(c - a) \cdot x / b + a] + 5.3 - 3.3 - [(c - a) \cdot x / b + a] + 3.3 \quad (4')$$

Then, if this dielectric constant distribution is applied to the above-mentioned formula (1), the following formulas (5) can be obtained.

[0059]

[Equation 7]

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{obs}}(\gamma d) &= \frac{1}{\gamma d} \int_0^b \frac{x}{\int_0^x \frac{dz}{(75a+3.3) + \left\{ \frac{75(c-a)}{b} \right\} x}} \exp\left(\frac{-x}{\gamma d}\right) dx \\ &+ \frac{1}{\gamma d} \int_b^\infty \left[\int_0^b \frac{dz}{(75a+3.3) + \left\{ \frac{75(c-a)}{b} \right\} x} + \int_b^x \frac{dz}{(75c+3.3)} \right] \exp\left(\frac{-x}{\gamma d}\right) dx \end{aligned} \quad (5)$$

Electric merit gammad of this formula (5) and the observation of a table 1 to the table 1 A value with dielectric relaxation reinforcement can be used by the formula (5), the combination of the value of a, b, and c in a formula (5) can be determined that a least square error will become the smallest with a simplex method, and concentration distribution of water can be searched for.

[0060] In this way, concentration distribution of the water for which it asked is shown in drawing 6. Signs that a front face dries by air blasting, and the inclination of the moisture concentration by the desiccation reaches even the depths from drawing 6 can be checked.

[0061] As mentioned above, if a sample is measured using a multi-probe, it is not necessary to exchange a probe for every measurement in the electrode with which electric length differs concentration distribution of the water in a sample front face, and it will become possible once by the measurement using a multi-probe to ask with a sufficient precision simple.

[0062]

[Effect of the Invention] According to this invention, in measuring the moisture concentration of a sample in un-destroying according to dielectric relaxation measurement of a time domain reflection method (the TDR method) etc., it becomes possible to be accurate and to measure moisture concentration distribution of a sample simple within the practical measuring time.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JP0 and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the schematic diagram of the multi-probe of this invention.

[Drawing 2] It is system-outline drawing which measures moisture concentration by dielectric relaxation measurement using the multi-probe of this invention.

[Drawing 3] It is system-outline drawing which measures moisture concentration by dielectric relaxation measurement using the multi-probe of this invention.

[Drawing 4] It is the perspective view of other modes of the multi-probe of this invention.

[Drawing 5] When the skin is made into a test portion, it is related drawing assumed from a front face to the depth and moisture concentration.

[Drawing 6] When the skin is made into a test portion, it is related drawing of the measurement depth and moisture concentration which were called for by the approach of an example.

[Drawing 7] They are the conventional probe for dielectric relaxation measurement, and system-outline drawing which measures moisture concentration by dielectric relaxation measurement using the probe.

[Drawing 8] It is the sectional view of the electrode for dielectric relaxation measurement.

[Drawing 9] It is the sectional view of the electrode for dielectric relaxation measurement.

[Description of Notations]

1A Multi-probe

2 Electrode for Dielectric Relaxation Measurement

3 Probe Case

4 Coaxial Cable

5 Connector

6 Oscillation and Receiving Set

21 Internal Electrode

22 Insulator

23 External Electrode

[Translation done.]

* NOTICES *

JP0 and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

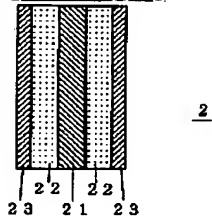
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

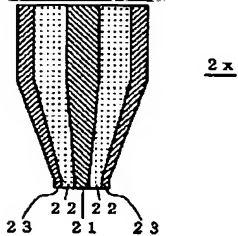
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

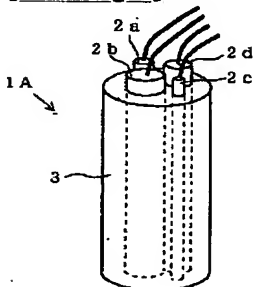
[Drawing 8]



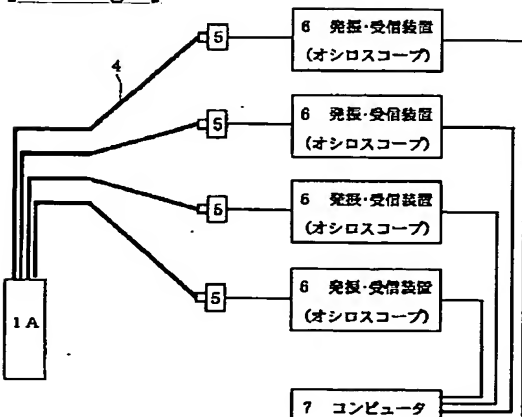
[Drawing 9]



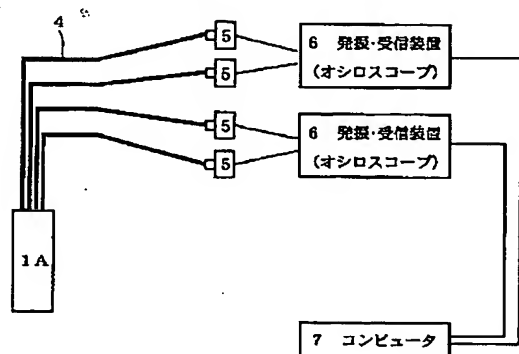
[Drawing 1]



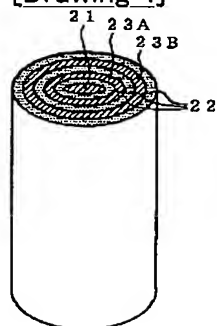
[Drawing 2]



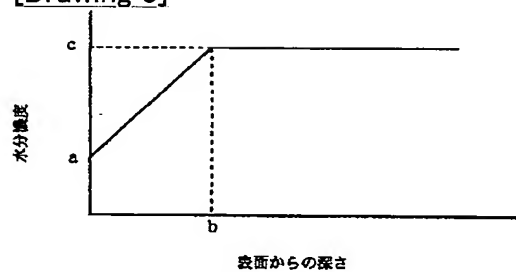
[Drawing 3]



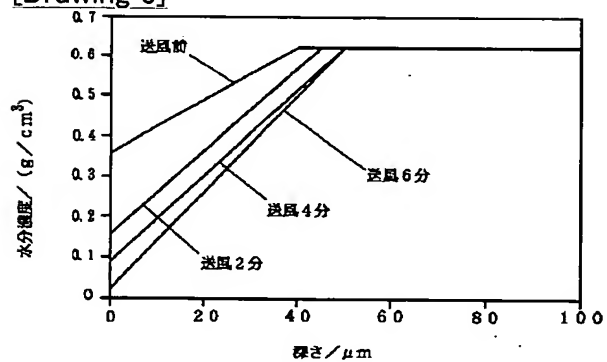
[Drawing 4]



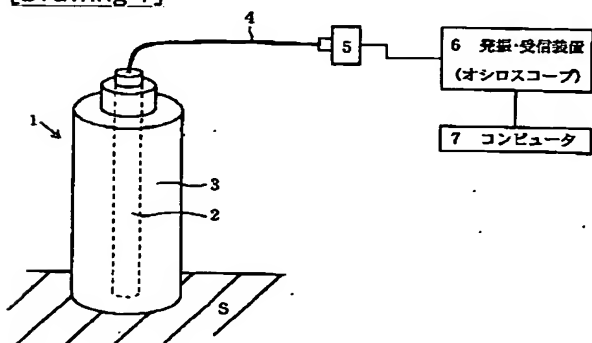
[Drawing 5]



[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-142169

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 N 22/04

識別記号

F I

G 0 1 N 22/04

Z

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-313133

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 11 月 7 日

(71) 出願人 000000918

花王株式会社

東京都中央区日本橋茅場町 1 丁目 14 番 10 号

(72) 発明者 内藤 智

栃木県芳賀郡市貝町赤羽 2606 花王株式会社
社研究所内

(72) 発明者 星 正人

栃木県芳賀郡市貝町赤羽 2606 花王株式会社
社研究所内

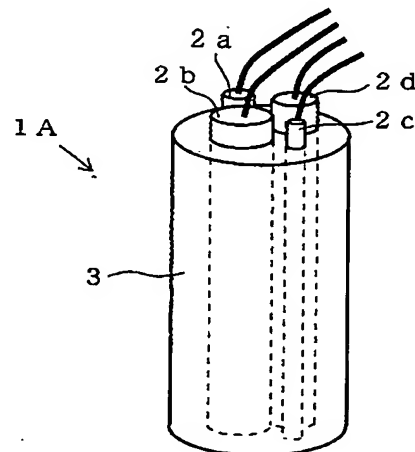
(74) 代理人 弁理士 田治米 登 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 誘電緩和測定用マルチプローブ

(57) 【要約】

【課題】 時間領域反射法 (TDR 法) などの誘電緩和測定にしたいが、試料の水分濃度を非破壊的に測定するにあたり、実用的な測定時間内で、精度よく、簡便に測定できるようにする。

【解決手段】 芯線状の内部電極と、その内部電極に絶縁体を介して同軸状に配された外部電極からなり、内部電極の先端面と外部電極の先端面が使用に対する接触面となる誘電緩和測定用電極 2 が、複数内蔵されているマルチプローブ 1 A を誘電緩和測定用プローブとする。このマルチプローブ 1 A 内に設けられている複数の電極の電気長は、互いに異ならせるか、等しくする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 芯線状の内部電極と、その内部電極に絶縁体を介して同軸状に配された外部電極とからなり、内部電極の先端面と外部電極の先端面が試料に対する接触面となる誘電緩和測定用電極が、一つのプローブ内に複数設けられていることを特徴とする誘電緩和測定用マルチプローブ。

【請求項2】 一つのプローブ内に設けられている複数の電極の電気長が互いに異なる請求項1記載の誘電緩和測定用マルチプローブ。

【請求項3】 一つのプローブ内に設けられている複数の電極の電気長が互いに等しい請求項1記載の誘電緩和測定用マルチプローブ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、試料の誘電率を測定することにより、試料中の深さ方向の水分の濃度分布を求めることを可能とする誘電緩和測定用プローブに関する。特に、測定効率を向上させるため、試料の誘電率を測定する電極が一つのプローブ内に複数設けられている誘電緩和測定用マルチプローブに関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、皮膚や食品等のように水を含む試料の性質は、その水分含量に大きく影響される。したがって、これら試料の水分含量の測定は、試料の性質や状態を把握する上で有用であり、また、試料に適用した薬品、化粧品等の性能を評価する上でも有用となる。

【0003】そこで、従来より種々の水分測定方法が提案され、使用されている。例えば、皮膚等の試料表層の水分の測定方法としては、一般に高周波インピーダンス法が用いられている。しかし、高周波インピーダンス法は、試料表層の水の挙動を直接的には観測していないため、試料表層の水分以外に測定値に影響を及ぼす因子が多く、再現性に問題がある。また、高周波インピーダンス法により得られる情報は、試料表面からどの程度の深さのものであるかがあいまいであるという問題もある。さらに、この方法では、自由水であるか結合水であるかという水の状態に関する情報を得ることもできない。

【0004】これに対し、試料表層の水分測定方法としては、試料表層の誘電率を測定し、そこに存在する水の誘電緩和を測定する方法が提案されている。誘電緩和の測定方法としては、周波数領域測定法と時間領域反射法（以下、TDR法(Time Domain Reflectometry method)と略する）とがあるが、近年、後者の測定技術及びその応用の研究が積極的に進められている。

【0005】このTDR法は、試料に特定波形の励起信号（例えば、ステップパルス）を印加してその反射波を観測し、反射波の各周波数成分の位相と強度の変化から試料の複素誘電率を求め、それに基づいて試料の物性を知る方法である。例えば、特開平2-110357号公

報には、TDR法により生体の水分測定を行った例が記載されている（同公報第4頁上右欄10行～第7頁下右欄17行）。この方法によれば、試料中の水分含量を非破壊的にかつ定量的に測定することができ、また、自由水であるか結合水であるかという水の状態に関する情報も得ることができるので好ましい。

【0006】図7は、この誘電緩和の測定に使用するプローブとシステムの概略図である。同図のように、誘電緩和の測定に使用するプローブ1としては、単一の電極2を筒状のプローブケース3内に設けたものが使用されている。プローブ1の電極2は、一端が試料Sに密着できるように開放されており、他端がケーブル4及びコネクタ5を介して発振・受信装置6と接続している。この発振・受信装置6には、励起信号を生成する発振器及び試料Sからの反射波を受信する受信機が内蔵されており、さらにそれぞれの波形を表示するオシロスコープが接続している。また発振・受信装置6には、観測波形から複素誘電率を求め、水分濃度を算出するコンピュータ7が接続している。

【0007】図8は、プローブ1に使用される電極2の断面図である。同図のように、電極2は、芯線状の内部電極21と、その周囲に絶縁体22を介して同軸状に配された外部電極23からなり、内部電極21の先端面と外部電極23の先端面とが測定試料に対する接触面を構成している。

【0008】図9もプローブ1に使用される電極の変形例2xの断面図である。この電極2xも図8の電極2と同様に、芯線状の内部電極21と、その周囲に絶縁体22を介して同軸状に配された外部電極23からなるが、電極2xの中央部から先端面に向かって内部電極21及び外部電極23の内径の比率を一定にしつつそれらの径を狭めたものである。このように試料に接することとなる内部電極21の先端面の径を狭め、その先端面の面積を小さくすることにより電極の電気長を短くすることができる。また、内部電極21の先端面の径を狭めるに際しては、このように電極の任意の位置において、内部電極21と外部電極23の内径との比率を一定にすることにより電極内のインピーダンスを一定にすることが好ましい。これにより誘電緩和測定時の多重反射を防止することが可能となる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のTDR法による水分測定では、単に試料表面からある深さまでの試料表層の平均的な水分含量がわかるにすぎず、試料の深さ方向の水の濃度分布を知ることはできない。そのため、試料の性質や状態の分析、あるいは試料に適用した薬品、化粧品等の評価を詳細に行うことができないという問題があった。

【0010】なお、試料の深さ方向の濃度分布を求める方法としては、試料の表層を所定の深さごとに剥離しな

3

から測定するテープストリッピング法が知られている。しかしながら、このような方法は試料の破壊を伴うものであり、特に皮膚を試料とする場合には、被試験者の苦痛を伴うという問題を有している。また、深さ方向の濃度分布を十分な精度で求めることができないという問題もある。

【0011】このような問題に対して、本発明者らは、電気長 $y d$ の開放型電極を用いて試料の誘電率を測定することにより、試料表面から深さ略 $y d$ の範囲の平均的な水分含量を測定できることを見出した。さらに、試料 * 10

4

*の同一部位に対し電気長が異なる複数の開放型電極を用いて誘電率を測定した場合、各電極の電気長と誘電率の測定値との間には一定の関係式が成立し、それに基づいて試料の深さ方向の水の濃度分布を求められることを見出し、これらの知見に基づいて水の濃度分布測定方法を提案した(特願平7-150910号明細書)。

【0012】即ち、誘電率の測定値 $\epsilon_{\text{obs}}(y d)$ は、次式(1)で表されることが見出された。

【0013】

【数1】

$$\epsilon_{\text{obs}}(\tau d) = \frac{1}{\tau d} \int_0^{\infty} \frac{x}{\int_0^x d z / \epsilon(z)} \exp(-x/\tau d) dx \quad (1)$$

式中、 $\epsilon_{\text{obs}}(y d)$ は、電気長 $y d$ の電極を用いて測定される誘電率の測定値を表す。

【0014】 $\epsilon(z)$ は、表面から z の深さにおける誘電率を表す。この誘電率は、誘電率測定における水の緩和時間よりも十分に速い領域での誘電率 ϵ_{∞} と水の緩和強度 $\Delta \epsilon$ との和を意味し、この水の緩和強度 $\Delta \epsilon$ は、試料の含水量に比例する。

【0015】電極の電気長 $y d$ は、同軸ケーブル等の伝※

$$\epsilon^*(\omega) = \frac{c}{j \omega \cdot \tau d} \cdot \frac{V(\omega) - R(\omega)}{V(\omega) + R(\omega)} \cdot Z \cot Z \quad (2)$$

(式中、 c = 光速)

j = 虚数単位

τd = 電気長

$Z = \omega d \sqrt{\epsilon^*(\omega)} / c$

d = 伝送路の幾何半長 である。)

※送路の一端に複素誘電率 $\epsilon^*(\omega)$ の負荷を設け、他端から角振動数 ω の電磁波 $V(\omega)$ を印加した場合の当該電磁波 $V(\omega)$ と、その反射波 $R(\omega)$ と、負荷の複素誘電率 $\epsilon^*(\omega)$ との関係式である次式(2)において、パラメータ $y d$ として含まれるものである。

【0016】

【数2】

この電気長 $y d$ は、電極側面部を絶縁体で被覆せずに、複素誘電率 $\epsilon^*(\omega)$ が知られている公知の標準試料に、電極先端部を先端面から 1 cm 以上浸漬して反射波を測定することにより求めることができる。

【0017】また、電気長 $y d$ は、電極の形状と大きさによって定まる電極固有の物理量であり、測定方法には依存しない。したがって、周波数領域測定法あるいは時間領域反射法(TDR法)のいずれの誘電緩和の測定方法においても、電極の電気長は一定である。

【0018】そこで、本発明者らの提案した測定方法にしたがい、上記の式(1)を用いて試料中の深さ方向の水分濃度分布を求めるにあたっては、まず電気長の異なる複数の電極を用いて試料の同一部位の誘電率を測定し、電気長 $y d$ の異なる電極ごとに誘電率の測定値 ϵ

$\epsilon_{\text{obs}}(y d)$ を得る。そして次の方法 a 又は方法 b のいずれかにより、試料の水の濃度分布として、深さ x における誘電率 $\epsilon(x)$ を求める。

【0019】方法 a : 水の濃度分布 $\epsilon(x)$ に対して適当な関数を仮定し、さらにその関数のパラメータを適宜定め(例えば、水の濃度勾配、水の濃度が一定になる部位での濃度や深さ等)、これらパラメータを変化させながら式(1)により誘電率 $\epsilon_{\text{obs}}(y d)$ を計算し、その計算値と実際の測定値とが一致する場合の関数とパラメータを求める。

【0020】方法 b : 式(1)の逆変換式である次式(3)

【0021】

【数3】

$$\varepsilon(x) = \left[\frac{d}{dx} \left(\frac{x}{L^{-1}(\tau d \cdot \varepsilon_{\text{obs}}(\tau d))} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

(式中、 L^{-1} は、 $s = 1/\gamma d$ に対しての逆ラプラス変換を表す。)により水の濃度分布 $\varepsilon(x)$ を求める。

【0022】このように、電気長 γd の異なる複数の電極を用いて試料の同一部位の誘電率を測定し、電気長 γd の異なる電極ごとに誘電率の測定値 $\varepsilon_{\text{obs}}(\gamma d)$ を得ることにより試料の深さ方向の水の濃度分布を知ることができる。

【0023】しかしながら、これまでの誘電緩和の測定システムにおいて、電気長 γd の異なる電極ごとに誘電率を求めるためには、電気長の異なる電極で測定するたびに、所定の電気長の電極を有するプローブを交換しなくてはならず、測定操作が非常に複雑になるという問題があった。また、トータルの測定時間が長くなるために、試料中の水の濃度分布が経時的に変化する場合に、正確な濃度分布を得ることができないという問題もあった。

【0024】また、或る特定の深さでの水分濃度を求める場合において、測定精度を向上させるためには、同一測定部位を同一電極で繰り返し測定することが望まれる。したがって、この場合にも測定時間が長くなるという問題があり、さらに同一測定部位に繰り返し電極を当てるために注意を払わなくてはならないという複雑さもあった。

【0025】本発明は以上のような従来技術の課題を解決しようとするものであり、試料の水分濃度分布を、実用的な測定時間内で、精度よく、簡便に測定できるようにすることを目的とする。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明者は、誘電緩和を測定する一つのプローブ内に、電気長の異なる複数の電極を設けることにより、一度の測定操作で試料の深さ方向の水分濃度分布を効率よく測定できること、また、一つのプローブ内に電気長の等しい複数の電極を設けることにより、試料の特定の深さの水分濃度を一度の測定操作で正確かつ簡便に得られることを見出し、本発明を完成させるに至った。

【0027】即ち、本発明は、芯線状の内部電極と、その内部電極に絶縁体を介して同軸状に配された外部電極とからなり、内部電極の先端面と外部電極の先端面が試料に対する接触面となる誘電緩和測定用電極が、一つのプローブ内に複数設けられていることを特徴とする誘電緩和測定用マルチプローブを提供する。

【0028】特に、一つのプローブ内に設けられている複数の電極の電気長が互いに異なる態様、あるいは一つのプローブ内に設けられている複数の電極の電気長が互

いに等しい態様を提供する。

【0029】本発明によれば、一つのプローブ内に複数の誘電緩和測定用電極が設けられているので、これまで複数回必要とされていた測定操作を減らすことができる。特に、一つのプローブ内に電気長が互いに異なる複数の誘電緩和測定用電極が設けられている本発明の態様によれば、深さ方向の水分の濃度分布を測定するために、電気長の異なる電極ごとに誘電率を求めることが必要とされる場合でも、プローブの交換を不要にするか、あるいは交換回数を減らすことができる。したがって、試料の誘電緩和の測定を短時間に簡便に行うことが可能となる。

【0030】また、一つのプローブ内に電気長が互いに等しい複数の誘電緩和測定用電極が設けられている本発明の態様によれば、ある特定の深さでの水分濃度の測定精度を向上させるために、特定の電気長の電極で複数回繰り返し誘電率を測定することが必要となる場合でも、一つのプローブによる測定で複数回分の測定を同時に行うことができるので、トータルの測定時間を短縮させることができ、また、測定ごとに試料の同一測定部位に電極を合わせるといった複雑さも軽減することができる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面に基づいて詳細に説明する。なお、各図中、同一符号は同一又は同様の構成要素を表している。

【0032】図1は、本発明の一実施例のマルチプローブ1Aの概略図である。このマルチプローブ1Aは、プローブケース3内に電気長の互いに異なる4つの電極2a、2b、2c、2dを隣接させて設けたものである。

【0033】各電極2a、2b、2c、2dの基本構成は、図8又は図9に示した従来のプローブ1に使用する電極2と同様であり、芯線状の内部電極21と、その周囲に絶縁体22を介して同軸状に配された外部電極23からなっている。

【0034】また、各電極2a、2b、2c、2dの電気長は上述のようにそれぞれ異なるが、各電極の電気長を設定するに際しては、いずれも電気長1~2000 μ mの範囲内とすることが好ましく、より好ましくは5~100 μ mとする。電気長が1 μ m未満であると反射波の波形変化が小さすぎて正確な測定が困難となる。一方、電気長が2000 μ mを超えるとGHz領域の信号の減衰が大きくなって測定精度が低下する。

【0035】また、各電極2a、2b、2c、2dの電気長は、上述の範囲内で試料の種類、水分濃度を測定する深さ、目的とする深さ方向の空間分解能等に応じて適

宜選択する。例えば、角質層領域の水分濃度分布の測定には5~100 μ mの電気長の電極を使用する。

【0036】ここで、各電極2a、2b、2c、2dの電気長を異ならせる方法としては、例えば、内部電極が試料に接触する電極の先端面の面積を適宜変えればよく、また、内部電極と外部電極との先端面における間隔を適宜変えてもよい。例えば、内部電極の先端面を径10 μ m~270 μ mの円形とし、内部電極と外部電極との間隔を10 μ m~310 μ mとすることにより、電気長100 μ m以下の電極を、誘電率の測定時に電極と接

続することとなる同軸ケーブルとのインピーダンスの整合性よく得ることができる。

【0037】複数の電極2a、2b、2c、2dからなるプローブ1Aを使用し、各電極で誘電緩和を求める方法自体は、周波数領域測定法あるいは時間領域反射法

(TDR法)のいずれによってもよく、それぞれ公知の方法によることができる。例えば、TDR法による測定

自体は、特開平2-110357号公報等に記載されている公知の方法によることができる。

【0038】また、誘電緩和の測定に際しては、図7に示したように、電極2に発振・受信装置6を接続することにより、各電極に誘電緩和測定のための発振器と受信機とを接続するが、オシロスコープは各電極に対応させて接続してもよく、複数の電極に対応させてもよい。したがって、誘電緩和測定により水分濃度を測定するシステム構成としては、例えば図2に示したように、マルチプローブ1A内の各電極2a、2b、2c、2dに、オシロスコープを有する発振・受信装置6を接続し、これらをコンピュータ7に接続してもよく、また図3に示したように、2つの電極に対応する2チャンネルの発振器及び受信機を1つのオシロスコープに接続してもよい。

【0039】図1には、マルチプローブ1Aが4つの電極2a、2b、2c、2dを有する例を示したが、本発明においてマルチプローブ内に設ける電極の数には特に制限はない。測定する試料の種類、目的とする深さ領域、深さ方向の水分濃度分布の所定の空間分解能等に応じて適宜定めることができる。原理的には用いる電極の数が多いほど空間分解能が向上するので好ましいが、例えば、ふくらはぎの水分濃度分布を測定する場合、装置の製造コスト、計算に要する時間、実用的なマルチプローブの太さの点から、2~30個とすることが好ましい。

【0040】なお、マルチプローブ1Aには、必要に応じて各電極2a、2b、2c、2dを試料表面に密着させるためのガイド、各電極2a、2b、2c、2dを所定の圧力で試料表面に押しつけるスプリングなどの押圧手段、水分以外の情報を同時に取得するためのセンサー類、例えば、温度センサー、pHセンサー、ドップラー血流計、色調計、圧力センサー、粘弾性測定用振動子、断層撮影用超音波プローブ、マイクロホン、光ファイバ

一、1kHz~100MHzの電磁波受信装置等を設けることができる。

【0041】このマルチプローブ1Aを使用することにより、4つの異なる電気長での誘電率を同時に測定することができるので、試料の深さの方向の水分の濃度分布を短時間に簡便に測定することが可能となる。

【0042】以上、一つのマルチプローブ1A内に、電気長が互いに異なる4つの電極2a、2b、2c、2dを設けた本発明の態様を示したが、本発明のマルチプローブとしては、マルチプローブが有する複数の電極の電気長を互いに等しくしてもよい。この場合には、マルチプローブを使用した一度の測定操作で、その電気長の電極での測定を複数回繰り返したのと同様に、精度の高い測定結果を得ることができる。

【0043】また、図1のマルチプローブ1Aでは、4つの電極2a、2b、2c、2dがそれぞれ芯線状の内部電極とその周囲に絶縁体を介して同軸状に配された外部電極とを有する独立的な電極であり、これらがプローブケース3内で束ねられているが、本発明のマルチプローブにおいて、複数の独立的電極の束ね方としては、先端面が同一平面上に配置されていることが好ましい。各独立的電極の外部電極間の空隙は何も充填しなくてもよいし、あるいは絶縁体、導電体で充填してもよい。

【0044】例えば、本発明のマルチプローブの態様としては、一本の導電体(例えば、銅製)の内部に円筒状の構造を複数くり抜いた構造の外部電極と、それぞれの円筒状の空隙の内部に配置された円筒状の絶縁体と、絶縁体のさらに内部に配置された円柱状の導電体(内部電極)によって構成されるマルチプローブとしてもよい。このように外部電極を複数の電極に共通したものとすると、マルチプローブ全体の直径が単純に同じ本数の電極を束ねた場合よりもより細くできるので、操作性が向上する。

【0045】一方、本発明のマルチプローブの態様として、一つの芯線状の内部電極の周囲に、絶縁体を介して同軸状に円筒状の電極を多重に設けてもよい。この態様において多重に設けられている同軸状態の電極の一つを外部電極として使用する場合、それよりも内側にある同軸状電極又は芯線状電極を内部電極として使用することができる。例えば、図4に示したように、芯線状電極21と2つの同軸状電極23A、23Bを用いたマルチプローブの場合、内部電極-外部電極の組み合わせとして、21-23A、21-23B、23A-23Bの3通りの独立的電極として使用することができる。これにより単純に電極を束ねた構造のマルチプローブよりもより細いマルチプローブを作製することができる。

【0046】本発明のマルチプローブが測定対象とする試料については特に制限はない。試料表面付近に水分濃度を有するもの、特に皮膚、食品等のように試料表面からの深さに応じて水の濃度分布が変化するものを広く測

定対象とすることができる。

【0047】

【実施例】以下、本発明を実施例に基づいて具体的に説明する。

【0048】実施例1

(1) 電極の作製

マルチプローブに内蔵する電極として、図8に示す形状を有し、電気長が各々60、115又は290 μ mの電極E2~E4、及び図9に示す形状を有し、電気長が15 μ mの電極E1を作製した。この場合、電極素材としては、内部電極21と外部電極23とを共に銅とし、この表面に腐食防止のために金メッキを施した。また、これら電極間の絶縁体22をテフロンとした。

【0049】なお、形成した電極の電気長は次のようにして求めた。即ち、誘電スペクトルが既に知られているアセトン標準試料とし、電極の外部電極側面を絶縁体で被覆することなしに、電極の先端をアセトンに深さ1cm以上浸し、励起信号としてステップパルスを用いてTDR法で反射波を測定した。そして、励起信号と測定された反射波とを用い、電気長 y_d をパラメータとして、式(2)から誘電スペクトルを算出した。この場合、電気長 y_d の値を変えながら誘電スペクトルを算出し、その算出した誘電スペクトルの値がアセトンの既知の誘電スペクトルと最も一致した場合の電気長 y_d を当*

自由水の緩和強度

電極	E1	E2	E3	E4
電気長 y_d	15	60	115	290
送風前	33.4	39.2	42.1	45.4
送風2分	20.1	28.6	33.6	39.8
送風4分	14.9	23.7	29.2	36.6
送風6分	9.9	18.8	24.62	23.9

【0054】ところで、皮膚表層における水は、深部からの水の供給と、表面からの水の蒸発との動的な平衡によって、深さ方向に濃度分布をもっていると考えられる。また、皮膚表層には血管がないため深部からの水の供給は、Fick型の拡散によって支配されていると考えられる。そこで、近似的に、皮膚表層には深部から表面に向かって直線的に水分濃度が増加する濃度勾配があると考えられる。ここで、最表面での水分濃度を a 、濃度勾配が終了して一定の水分濃度領域に移行する深さを b 、水分濃度一定の領域での水分濃度を c とすると、皮膚表層から深部の水分濃度は図5に示したように表すことができる。

【0055】一方、皮膚は水とタンパク質から構成され※

$$\varepsilon = 73 \cdot C_w + (5.3 - 3.3) \cdot C_w + 3.3 \quad (4)$$

この式(4)を図5の水分濃度分布(表層からの深さ x

vs. 水分濃度)に適用すると、皮膚表面における誘電率の深さ方向分布を得ることができる。すなわち、図5から

【0057】

*該電極の電気長 y_d とした。

【0050】(2) マルチプローブ及び測定システムの作製

上記4本の電極を筒状のマルチプローブケース内に取り付け、4つの電極を内蔵するマルチプローブを作製した。

【0051】また、4本の電極にはそれぞれ同軸ケーブルを接続し、その終端にSMAコネクタ端子を設けた。一方、20GHzのTDR測定用チャンネルを2個内蔵したデジタルオシロスコープ(ヒューレットパッカード社製、HP54750A)を2台用意し、各コネクタ端子をこのデジタルオシロスコープのチャンネルに接続した。また、各オシロスコープは一台のパーソナルコンピュータに接続し、制御した。

【0052】(3) 誘電率の測定

人の前腕内側部を測定部位とし、予め25℃、80% R. H. の環境に30分間馴化した後、前腕内側部の皮膚にマルチプローブを当て、誘電率を測定した。その後、前腕内側部に送風しながら、2分間隔で測定を行った。各電極E1~E4で観測された自由水の緩和強度を表1に示す。

【0053】

【表1】

※ていると近似することができる。純粋な水の緩和強度は73であり、水の緩和よりも十分に速い周波数領域での水の誘電率は5.3である。また、タンパク質は水よりも遥かに大きな分子であるので、水の誘電緩和が生じる周波数領域では緩和を起こさない。水の緩和よりも十分に速い周波数領域での誘電率はタンパク質の種類によって若干異なるが、代表的なポリアミドであるナイロンの誘電率3.3で近似することができる。そこで、水の緩和過程が終了する周波数領域の誘電率(ε)は、水の濃度(C_w)の関数として次式(4)のように表現することができる。

【0056】

【数4】

【数5】

$$C_w = \frac{(C - a) \cdot x}{b} + a$$

であるから、式(4)は次式(4')のように表せる。

【0058】

【数6】

$$\varepsilon = 73 \cdot [(c-a) \cdot x/b + a] + (5.3 - 3.3) \cdot [(c-a) \cdot x/b + a] + 3.3 \quad (4')$$

そこで、この誘電率分布を前述の式(1)に適用する

*【0059】

と、以下の式(5)を得ることができる。

*【数7】

$$\varepsilon_{\text{obs}}(\tau d) = \frac{1}{7d} \int_0^b \frac{x}{dz} \frac{\exp(-\frac{x}{7d})}{(75a+3.3) + \left\{ \frac{75(c-a)}{b} \right\} x} dx + \frac{1}{7d} \int_b^\infty \left[\frac{x}{dz} \frac{\exp(-\frac{x}{7d})}{(75a+3.3) + \left\{ \frac{75(c-a)}{b} \right\} x} + \frac{x}{dz} \frac{\exp(-\frac{x}{7d})}{(75c+3.3)} \right] dx \quad (5)$$

この式(5)と表1の観測結果とから、表1の電気長 y と誘電緩和強度との値を式(5)で使用し、式(5)中の a 、 b 、 c の値の組み合わせをシンプレックス法によって最小二乗誤差が最も小さくなるように決定し、水の濃度分布を求めることができる。

【0060】こうして求めた水の濃度分布を図6に示す。図6から、送風により表面が乾燥し、かつその乾燥による水分濃度の勾配が深部にまで到達する様子が確認できる。

【0061】以上のように、マルチプローブを用いて試料を測定すると、試料表面における水の濃度分布を、電気長の異なる電極での測定ごとにプローブを取り替える必要がなく、マルチプローブを用いた一度の測定で、簡単に精度よく求めることが可能となる。

【0062】

【発明の効果】本発明によれば、時間領域反射法(TDR法)などの誘電緩和測定にしたがい、試料の水分濃度を非破壊的に測定するにあたり、試料の水分濃度分布を、実用的な測定時間内で、精度よく、簡単に測定することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のマルチプローブの概略図である。

【図2】本発明のマルチプローブを用いた誘電緩和測定により水分濃度を測定するシステム概略図である。

【図3】本発明のマルチプローブを用いた誘電緩和測定により水分濃度を測定するシステム概略図である。

【図4】本発明のマルチプローブの他の態様の斜視図である。

【図5】皮膚を測定試料とした場合に、表面からの深さと水分濃度とに想定される関係図である。

【図6】皮膚を測定試料とした場合に、実施例の方法により求められた測定深さと水分濃度との関係図である。

【図7】従来の誘電緩和測定用プローブ、及びそのプローブを用いた誘電緩和測定により水分濃度を測定するシステム概略図である。

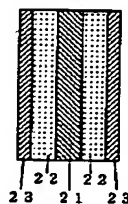
【図8】誘電緩和測定用電極の断面図である。

【図9】誘電緩和測定用電極の断面図である。

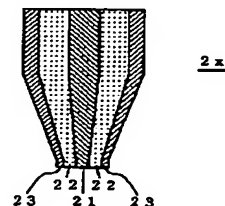
【符号の説明】

- 1 A マルチプローブ
- 2 誘電緩和測定用電極
- 3 プローブケース
- 4 同軸ケーブル
- 5 コネクター
- 6 発振・受信装置
- 21 内部電極
- 22 絶縁体
- 23 外部電極

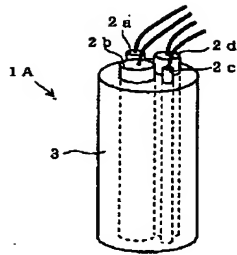
【図8】



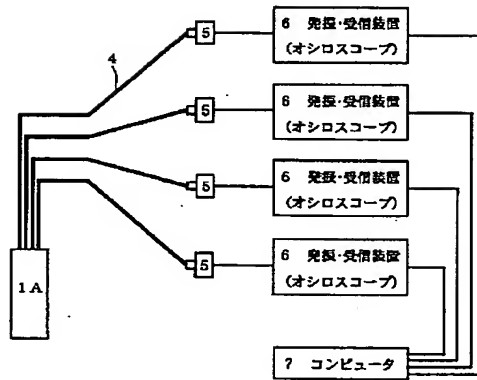
【図9】



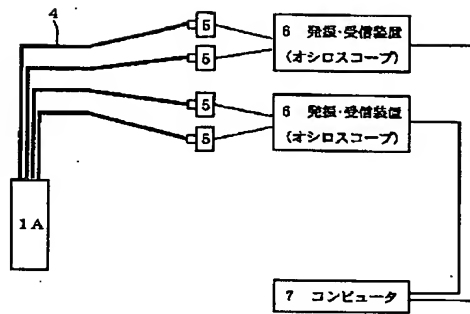
【図1】



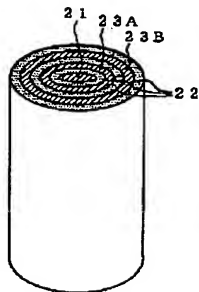
【図2】



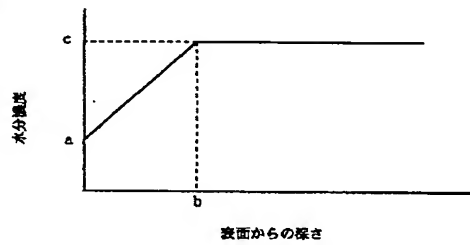
【図3】



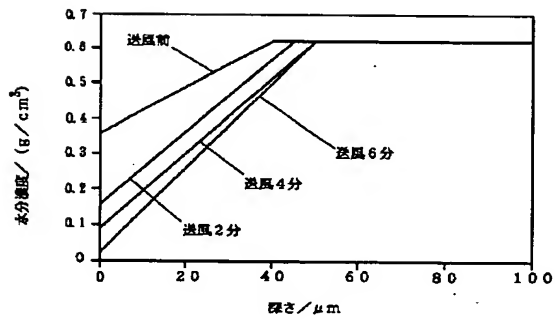
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

